

Улаануурын хотгор дахь дунд пермийн Тавантолгой болон Цанхи формацын петрографи, геохимийн судалгаа

М.Номинцэцэг^{1,2}, Б.Эрдэнэцогт^{1*}, Л.Жаргал¹, Н.Байгалмаа¹

¹ МУИС, Шинжлэх Ухааны Сургууль, Геологи, геофизикийн тэнхим

² Болд төмөр ерөө гол ХХК

Abstract

From two boreholes (RL-#01, BTE-117) drilled in the Tavantolgoi deposit, a total of 25 samples of mudstone and sandstone from the Middle Permian Tsankhi and Tavantolgoi formations were analyzed for petrographic and geochemical analyses. Petrographic analyses show that the sandstones of the Middle Permian Tavantolgoi Formation have a litharenite composition. Geochemical results indicate that the sediments of the Tsankhi Formation were deposited under a more humid and warmer climate compared to those of the Tavantolgoi Formation. Furthermore, the sediments of the Tsankhi and Tavantolgoi formations were derived from felsic to intermediate source rocks.

Холбоо барих зохиогч: Б.Эрдэнэцогт
И-мэйл: tsogo@num.edu.mn

Түлхүүр үг: Tavantolgoi, Middle Permian, provenance, paleoweathering, tectonic setting

1. Оршил

Тунамал чулуулгийн петрографийн судалгаагаар тухайн чулуулгийн гарал үүсэл, тунамал савын геодинамикийн нөхцөл, эртний хуримтлалын орчны нөхцлийг сэргээн босгож болно (Pettijohn et al, 1972; Dickinson, 1985). Мөн цахиурлаг хэмхдэст чулуулгийн геохимийн судалгааны үр дүнд тунамал чулуулгийн эх үүсвэр, тэжээгч мужийн химийн өгөршлийн эрчим, уур амьсгал, тунамал чулуулаг хуримтлагдсан савын геодинамикийн нөхцөл зэргийг тодорхойлдог (Nesbitt and Young, 1982; Roser, 2000; Verma and Armstrong-Altrin, 2013).

Сүүлийн үед Монголын тунамал савуудад элсэн чулууны петрографи, цахиурлаг хэмхдэст чулуулгийн геохимийн судалгааг нилээн эрчимтэй хийж байна (Эрдэнэцогт, 2022). Жишээлбэл, Өмнөговийн нүүрсний савын дунд пермийн Тавантолгой, Барууннаран ордууд (Болормаа нар, 2019; Дэмбэрэлсүрэн 2021),

дунд юрын Нарийнсухайт орд (Байгалмаа нар, 2021; Батгэрэл нар, 2021), Орхон-Сэлэнгийн нүүрстэй талбайн дунд юрын Хужирт орд (Эрдэнэцогт нар, 2021), Онгийн голын савын дунд юрын Сайхан-Овоогийн хотгор (Нансалмаа нар, 2021)-д энэ төрлийн судалгааг гүйцэтгэсэн болно.

Өмнөговийн савын Тавантолгойн нүүрсний бүлэг орд орчим тархсан дунд пермийн хурдас нь Өмнөд Монголын пермийн цаг үеийн тектоник, эртний уур амьсгал, шатах ашигт матлмал хуримтлалын нөхцлийг сэргээн босгоход чухал үүрэгтэй. Өмнөх судалгаагаар Тавантолгойн Бортээг, Барууннаран орд дахь дунд пермийн Тавантолгой формацийн тунамал чулуулаг нь хүчиллэг найрлагатай магмын чулуулгийн угагдлаар үүссэн, тэжээгч муж дахь химийн өгөршлийн эрчим дунд зэрэг, уур амьсгал семи-гумид, семи-арид байсныг тогтоосон (Болормаа нар, 2019; Дэмбэрэлсүрэн 2021).

Энэ судалгаагаар Тавантолгойн Бортээг ордод өрөмдсөн цооногуудад огтлогдсон дунд пермийн Тавантолгой болон Цанхи формацийн тунамал чулуулгаас дээж авч петрографи, геохимийн судалгаа хийж, эдгээр формациудын хурдас хуримтлагдсан орчин, уур амьсгалын нөхцөл, тектоникийн нөхцлийг сэргээн босгохыг зорилоо. Учир нь эдгээр формациуд литологи, хуримтлалын нөхцлийн хувьд эрс ялгаатай болно.

2. Геологийн тогтоц

Тавантолгой орд Өмнөговийн нүүрсний сав газарт багтана. Өмнөговийн сав газар нь Монголын өмнөд хэсэгт баруунаас зүүн тийш 600 км сунаж тогтсон, ойролцоогоор 40 000 кв.км талбай эзлэн оршино.

Өмнөговийн нүүрсний сав газрын үндсэн нүүрсжилт дунд пермийн эх газрын хурдастай холбоотой (Бат-Эрдэнэ, 2009; Erdenetsogt and Jargal, 2021). Мөн дунд юрын хурдас нүүрсжилт агуулна (Баатархуяг нар, 2010; Baigalmaa et al., 2021). Сав газрын хэмжээнд нийтдээ нүүрсний 16 давхраас тогтоогдсон. Нүүрс агуулсан пермийн хурдсын насыг ургамлын үлдэгдэл дээр тулгуурлан тодорхойлжээ (Уранбилэг, 2001).

Тавантолгой ордын баруун хойд хэсгээр дунд-дээд девоны цахиурлаг терриген, төвийн хэсгээр дээд карбон-доод пермийн вулканоген, дээд пермийн эх газрын тунамал чулуулаг, өмнөд болон зүүн өмнөд хэсэгт бага хэмжээний талбайд триас, цэрд, неогений эх газрын хурдас тархсан байна. Карбон-пермийн насны субвулкан чулуулаг нь ордын баруун хойд, баруун талаар болон өмнөөсөө зүүн хойш сунаж тогтсон Цанхийн гүдэн атирааны орчим зурвас талбайд илэрдэг. (Гантулга, 2013).

Хосбаяр нар (3740Ф) 1987 онд 1:50000-ны масштабтай геологийн зураглалын ажлын

үр дүнд, өөр хоорондоо нийцлэг байрлалтай Жирэм, Цанх, Тавантолгой нэртэй гурван формац бүхий Тавантолгой групп ялгасан байдаг. Дунд пермийн Жирэм формац нь том хайргат улаавтар, бор шаргал өнгийн конгломерат, конглобрекч, том мөхлөгт элсжингээс тогтох ба зузаан нь 300-1200 м. Дунд пермийн Цанхи формац нь элсжин, алевролит, шаварлаг занар, шохойжингийн үе, ховроор жижиг хайргат конгломерат, гравелитын үе агуулсан нягт хар аргиллит-занараас бүрдэнэ. Зузаан нь 200-250 м. Дунд пермийн Тавантолгой формац элсжин, гравелит, аргиллит, нүүрсний үеүдээс бүрдэх ба зузаан нь 250-1150 м.

3. Судалгааны дээж ба аргачлал

3.1 Дээж

Энэ судалгаанд Тавантолгой ордын Улааннуур (Бортээг)-ын талбайд өрөмдсөн 2 цооногоос авсан 25 дээжийг ашиглав. Эдгээр 25 дээжүүдийн 11 нь 2017 онд Эрдэнэс Тавантолгой ХХК-ийн өрөмдсөн 960 м гүнтэй, ВТЕ-117 цооногт огтлогдсон дунд пермийн Цанхи формацийн хар аргиллитийн, үлдэх 14 нь 2023 онд Метан газ ресурс ХХК-ийн өрөмдсөн 1011 м гүнтэй, RL-#01 цооногт огтлогдсон дунд пермийн Тавантолгой формацийн элсэн чулууны дээж болно. Цанхи формацийн дээжийг 878-921 м гүнээс, Тавантолгой формацийн дээжийг 258-325 м гүнээс авсан. Дээжүүдэд үндсэн исэл, сарнимал элемент, газрын ховор элемент тодорхойлов. Элсэн чулууны дээжүүдэд петрографи (хэмхдэсийн модаль судалгаа)-ийн судалгаа хийсэн болно.

3.2 Петрографийн судалгааны аргачлал

Петрографийн шинжилгээг МУИС-ийн суурь судалгааны лабораторид гүйцэтгэсэн. Судалгаанд MOTIC BA310 Pol маркийн микроскоп ашигласан ба фотомикро зургуудыг уг микроскопоор анализатортай

болон анализаторгүй авсан. Элсэн чулууны найрлагыг Фолк (Folk, 1968)-ын ангилалаар, элсэн чулууны ширхэгийн хэмжээг Петтижон нар (Pettijohn et al, 1972)-ын ангилалаар тодорхойлсон. Элсэн чулууны тэжээгдлийн эх үүсвэрийг Дикинсон (Dickinson, 1985)-ы диаграммыг ашиглан тодорхойлов. Тэжээгдлийн эх үүсвэрийг тодорхойлохдоо тоологч багаж ашиглан, дээж тус бүр дээр 300 цэг тоолсон болно.

3.3 Геохимийн судалгааны аргачлал

Геохимийн шинжилгээг Эс-Жи-Эс Монголиа лабораторид гүйцэтгэсэн ба үндсэн ислийг XRF, сарнимал болон газрын ховор элементийн агуулгыг ICP-OES, ICP-MS багажаар тодорхойлсон. Шинжилгээгээр тодорхойлсон агуулгыг тайлалтанд ашиглахын өмнө шатаалтын хорогдлыг хасаж, дахин тооцоолов.

4. Судалгааны үр дүн

4.1 Петрографийн судалгааны үр дүн

Дунд пермийн Тавантолгой формацийн 14 дээжинд петрографийн судалгааг хийхэд элсжинлэг гравелит, алевролитлаг элсэн чулуу болон гравелитлаг элсэн чулуу, элсэн чулуу тогтоогдсон болно. Элсэн чулуунууд нь псаммит, псефитопсаммит, алевропсаммит структуртэй, цул нягт, хааяа сулавтар занарлаг текстуртэйгээр тэмдэглэгдэнэ. Уг элсэн чулуулгийн хэмхдэсүүдийн ялгаралт болон мөлгөржилт дундаас сайн зэрэгтэй байна.

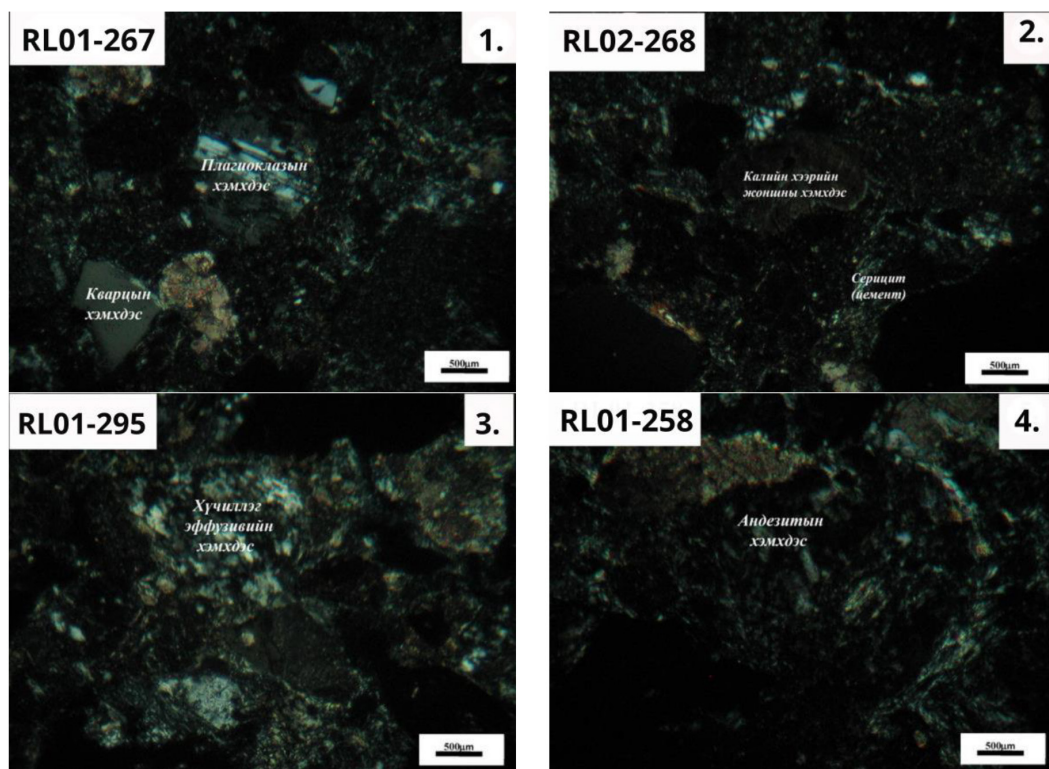
Элсэн чулуу нь 90-95%-ийн хэмхдэс, 5-10%-

ийн цементлэгч материалаас бүрджээ. Зарим элсэн чулуунд хэмхдэсийн агуулга буурч, цементийн агуулга 25-30% хүрнэ. Элсэн чулуун нь эрдсийн болон чулуулгийн хэмхдэсээс бүрдэнэ.

Эрдсийн хэмхдэсээс кварц, калийн хээрийн жонш, плагиоклазын хэмхдэс тохиолдоно. Чулуулагт плагиоклазын хэмхдэсүүд нь пелит, серицитээр, калийн хээрийн жоншны хэмхдэс нь пелитээр, түрэгдсэн байна (Зураг 1). Калийн хээрийн жоншны хэмхдэс дээр альбитын пертит ургалт муухан ажиглагдана.

Чулуулгийн хэмхдэсүүд нь эффузив, интрузив, метаморф, тунамал чулуулгийн хэмхдэсээс тогтоно. Эффузив чулуулгийн хэмхдэсээс хүчиллэг найрлагатай эффузивийн хэмхдэс, андезитын хэмхдэс, туф, туфалевролитын хэмхдэс (вулканоген хэмхдэст чулуулаг) тогтоогдсон. Интрузив чулуулгийн хэмхдэсийн найрлагыг тодорхойлох боломжгүй байв. Метаморф чулуулгийн хэмхдэсүүдээс микрокварцит, микрозанарын, тунамал чулуулгийн хэмхдэсүүдээс цахиурлаг чулуулгийн, шохойн чулууны, алевролитын хэмхдэсүүд тааралдана (Зураг 1).

Чулуулгийн цемент нь гол төлөв заагийн болон хальсан хааяа нүх сүвийн төрлийг үүсгэж, нийт агуулгын 5-10%-ийг эзэлж, гол төлөв серицитээс хааяа хлорит, карбонатаас бүрджээ. Акцессор эрдсээс хүдрийн эрдэс, лейкоксенжсэн сфен, циркон, апатит тааралдана.



Зураг 1. Дундпермийн Тавантолгой формацийн элсэн чулууны дээжийн фотомикросургууд (RL-#01 цоонгог). 1) плагиоклазын хэмхдэс / шлиф№-RL-#01-267/, 2) калийн хээрийн жоншны хэмхдэс / шлиф№ RL-#01-268/, 3) хүчиллэг найрлагатай чулуулгийн хэмхдэс / шлиф№RL-#01-295/, 4) андезитын хэмхдэс /шлиф№RL-#01-258/

4.1.2 Элсэн чулууны хэмхдэсийн модаль шинжилгээний цр дүн

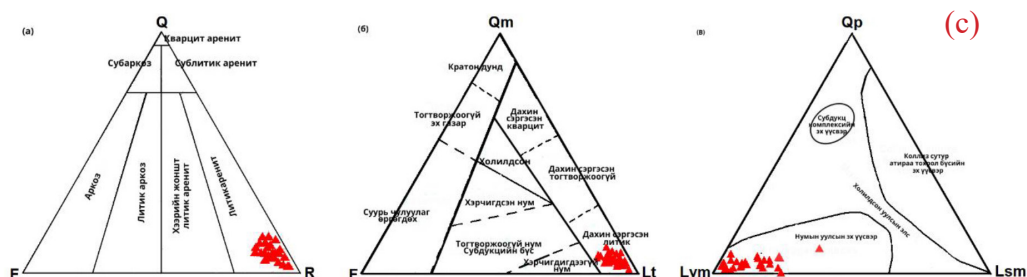
Элсэн чулуунуудын хэмхдэсүүдийг монокристаллаг кварц, поликристаллаг кварц, плагиоклаз, калийн хээрийн жонш, галт уулын чулуулгийн хэмхдэс, хувирмал чулуулгийн хэмхдэс, тунамал чулуулгийн хэмхдэс, цемент, матрикс, нүх сүвжилт, гялтгануурын эрдсүүд, акцессор эрдсүүд гэж ангилан, тэдгээрийн агуулгыг тооцоолов (Хүснэгт 1).

Элсэн чулууны ангиллын Q-F-L диаграмм (Folk, 1968) дээр Тавантолгой формацийн дээжүүдийг буулгахад бүх дээжүүд литик аренитын (Зураг 2а) талбайд буув. Мөн дээжүүдийг Qm-F-Lt диаграмм дээр буулгахад нэгээс бусад дээжүүд линк ресайклэд талбайд (Зураг 2b), Qp-Lvm-Lsm диаграмм дээр буулгахад бүх дээжүүд арк ороген талбайд бууж байна (Зураг 2c).

Хүснэгт 1 Дунд пермийн Тавантолгой формацийн элсэн чулууны дээжийн тоололтын үр дүн

Дээжийн дугаар	Q-F-L, %			Qm-F-Lt, %			Qp-Lvm-Lsm, %		
	Q	F	L	Qm	F	Lt	Qp	Lv	Ls
RL-#01-258	8.69	5.46	85.84	6.13	5.46	88.40	2.94	95.40	1.66
RL-#01-265	8.92	11.70	79.39	6.14	11.70	82.16	3.42	86.15	10.43
RL-#01-268	5.64	9.87	84.49	4.01	9.87	86.12	1.98	91.69	6.33
RL-#01-267	6.48	8.34	85.18	5.38	8.34	86.28	1.31	94.39	4.31
RL-#01-294	12.76	8.29	78.95	6.22	8.29	85.50	7.91	89.59	2.50
RL-#01-295	6.92	6.15	86.92	5.49	6.15	88.35	1.67	94.87	3.46
RL-#01-296	8.40	8.40	83.21	4.03	8.40	87.57	5.17	90.94	3.88
RL-#01-297	3.10	2.38	94.52	1.19	2.38	96.42	2.04	81.10	16.86
RL-#01-313	6.40	6.07	87.53	2.70	6.07	91.24	4.18	94.17	1.65
RL-#01-314	3.71	4.25	92.04	2.94	4.25	92.80	0.88	93.17	5.94
RL-#01-315	4.67	5.43	89.89	3.59	5.43	90.98	1.22	95.10	3.67
RL-#01-316	7.31	6.98	85.71	5.13	6.98	87.90	2.66	94.29	3.05
RL-#01-317	7.10	7.55	85.34	4.85	7.55	87.60	2.74	95.48	1.78
RL-#01-325	3.02	3.02	93.96	3.02	3.02	93.96	0.00	75.55	24.45

Тайлбар: Qm—монокристаллаг кварц, Qp—поликристаллаг кварц, F—хээрийн жонш, Lv—вулканик чулуулгийн хэмхдэс, Lt—хувирмал чулуулгийн хэмхдэс, Ls—тунамал чулуулгийн хэмхдэс



Зургаг 2. Тавантолгой формацийн элсэн чулууны тоололтын үр дүн. (а) элсэн чулууны ангилал (Folk.,1968); (б) дээжийг Qm-F-Lt диаграмм дээр байрлуулсан нь (Dickinson.,1985); (с) дээжийг Qp-Lvm-Lsm диаграмм дээр байрлуулсан нь (Dickinson.,1985).

4.2 Геохимийн судалгааны үр дүн

Дээжийн геохимийн шинжилгээний үр дүнг Хүснэгт 2-д үзүүлэв. Хүснэгтээс харахад элсэн чулууны дээжинд агуулагдах SiO_2 -ийн агуулга дунджаар 64.7% (50.05-72.2%), Al_2O_3 -ийнх 17.2% (11.8-21.9%), CaO -ийнх 4.8%

(0.9-20.2%), Na_2O -ийнх 2.7% (2.2-3.5%), K_2O -ийнх 1.9% (1.2-2.3%) Fe_2O_3 -ийнх 5.8% (1.8-23.7%) байна. Кальци болон төмрийн ислийн агуулга зарим дээжинд өндөр байгаа нь диагенетик эрдсүүдтэй холбоотой.

Хүснэгт 2 Дунд пермийн Тавантолгой формацийн элсэн чулууны геохимийн шинжилгээний үр дүн

Дээжийн дугаар	RL01- 258	RL01- 265	RL01- 267	RL01- 268	RL01- 294	RL01- 295	RL01- 296	RL01- 297	RL01- 313	RL01- 314	RL01- 315	RL01- 316	RL01- 317	RL01- 325
SiO ₂	66.2	50.5	66.1	70.6	69.2	67.1	67.3	57.5	52.8	72.2	71.4	71.4	71.7	52.5
TiO ₂	1	0.6	0.8	0.8	1.5	0.8	2.4	0.7	0.6	0.8	0.8	0.8	0.8	0.5
Al ₂ O ₃	21.9	14.4	18.3	17	20.3	19.8	18.1	14.6	14.4	17.3	17.8	17.9	17.5	11.8
Fe ₂ O ₃	3.3	6.7	6.1	3.6	1.8	4.5	3.6	5.9	12.5	2.3	2.5	2.1	2.4	23.7
MnO	0	0.2	0.1	0.1	0	0	0	0.1	0.2	0	0	0	0	0.6
MgO	1.6	3.7	1.6	1.3	0.9	1.4	1.2	2.5	2.4	1.1	1.2	0.9	1	2.7
CaO	1.4	20.2	2.6	2.6	1.1	1.6	2.7	14.5	12.5	0.9	0.9	0.9	0.9	4.3
Na ₂ O	2.3	2.3	2.2	2.2	3	2.5	2.8	2.5	2.4	3	3.1	3.5	3.4	2.2
K ₂ O	2.1	1.2	1.7	1.7	2.1	2.2	1.8	1.6	1.9	2.2	2.2	2.3	2.2	1.3
P ₂ O ₅	0.2	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4
Ba	171	173	175	165	171	185	179	176	169	150	156	160	189	140
Be	1.4	0.9	1.3	1	1.1	1.2	1.1	1.1	1.5	1.2	1.3	1.4	1.1	1.5
Cr	48	22	41	34	62	48	55	27	30	36	36	37	37	35
Cu	32	14	26	24	22	20	21	12	9	21	22	22	21	6
Li	37.2	31.5	29	23	26.5	25.5	25.7	23.9	15.8	18	20.4	16.5	16.1	12.9
Ni	37	15	29	20	21	21	18	20	23	30	24	16	18	48
Sc	7.7	6.1	8.2	6.2	6	7.4	9.4	8.5	9.2	5.3	5.4	5.8	5.5	9.8
Sr	16.4	546	159	152	133	159	209	363	346	90.9	102	107	97	206
Ti	0.55	0.28	0.45	0.42	0.66	0.45	0.7	0.34	0.3	0.42	0.45	0.45	0.43	0.27
V	115	62	112	90	114	105	123	68	79	103	92	99	99	106
Zr	80.2	80.5	82.3	75.6	78.2	74.3	82.2	110	91.8	76.2	83.8	85.4	86.9	87.1
Co	14.2	17.5	19.5	12.6	11.2	9.6	10.2	18.6	18.6	25.5	19.1	10.8	12.7	60.8
Rb	31.8	22.4	30.8	30.1	27.5	37.2	32.2	31.2	38.9	22.8	26.2	25.9	22.7	28.5
Y	9.4	12.7	9.8	8.4	7.2	9.1	17.6	25	3.8	4.8	4.5	4.1	17	8.2
Nb	8.8	6.7	6.4	8.1	6.6	7.9	6.5	7.7	7	7	7.3	7.1	4.3	9.4
Mo	0.42	0.5	0.49	0.27	0.3	0.37	0.97	0.54	4.19	0.53	0.66	0.56	1.06	0.33

5. Хэлэлцүүлэг

5.1 Элсэн чулууны ангилал, провенанс

Судлагдсан элсэн чулууны дээжүүд нь чулуулгийн хэмхдэс ихээр агуулсан буюу литикаренитийн найрлагатай байгаа нь эх үүсвэр чулуулгаасаа (өргөгдлийн мужаас) хол зөөгдөөгүйг илтгэнэ (Зураг 2а). Өгөршлийн бүтээгдэхүүн өргөгдлийн мужаас хол зөөгдөх тусам уг өгөршлийн бүтээгдэхүүн дэх чулууны хэмхдэс задарч, эрдсийн агуулга нэмэгдэнэ. Үүнээс гадна хэмхдэсийн мөлгөржилт, сортлогдсон байдал ихсэнэ. Хэрэв өргөгдлийн мужид уур амьсгал дулаан, чийглэг байвал химийн өгөршил эрчимжиж, өгөршлийн бүтээгдэхүүн дэх эрдсийн агуулга нэмэгдэж, чулууны хэмхдэс бага болно. Иймд судлагдсан элсэн чулууны дээжийн өргөгдлийн муж буюу тэжээгч муж нь харьцангуй ойр, уур амьсгал нь хуурай, сэрүүн, химийн өгөршлийн эрчим бага байсан гэж таамаглав.

Мөн Зураг 2с-с харахад эдгээр элсэн чулуунууд нь арлан нумын гаралтай чулуулаг (arc orogen source)-ийн угаагдлаар үүссэн байна. Мөн элсэн чулууны дээжүүд литик ресайклэд (lithic recycled) талбайд буужээ (Зураг 2б). Энэ талбайд буусан дээжүүдийг голчлон субдукцтэй холбоотой үүсдэг өргөгдөлтэй зэрэгцээ байрлах хотгоруудад хуримтлагдсан гэж үздэг (Dickinson, 1985). Өөрөөр хэлбэл эдгээр элсэн чулуунууд нь эх газрын арлан нумд үүссэн эртний чулуулаг коллизийн нөлөөгөөр өргөгдөж, угаагдахад үүссэн бөгөөд уг өргөгдөлтэй зэрэгцээ байрлах хотгоруудад зөөгдөн хуримтлагдсан байна. Энэ таамаглалд тулгуурлан, Тавантолгой орд орчим тархсан, дунд пермийн Тавантолгой элсэн чулуу нь хожуу карбон, түрүү пермийн вуланик болон интрузив чулуулгийн өргөгдөл, угаагдлаар үүссэн гэж дүгнэж байна. Шлифүүдэд магмын

чулуулгийн хэмхдэс агуулагддаг нь дээрх дүгнэлтийг бататгана.

5.2 Тэжээгч мужийн өгөршил

Тэжээгч муж (тектоникийн өргөгдсөн блок)-ийн химийн өгөршил нь уур амьсгалаас хамаарах ба өгөршлөөр чулуулгаас Na^+ , Ca^{2+} зөөгдөж, Al^{3+} , Ti^{4+} өгөршлийн бүтээгдэхүүнд үлдэнэ. Үүнд тулгуурлан химийн өгөршлийн зэргийг “Хувирлын химийн индекс” (CIA)-р тодорхойлно (Nesbitt and Young, 1982). CIA утга өгөршилд автаагүй базальтад 30-45, боржин, боржиндиоритод 45-55, шаварлаг чулуулагт 75-85, каолинит, хлоритод 100 байна. Тунамал чулуулагт CIA утга 50-60 бол тэжээгч мужид химийн өгөршил сул (уур амьсгал сэрүүн), 60-80 бол дунд зэрэг (дулаан, чийглэг), 80-100 бол эрчимтэй (халуун, чийглэг) явагдсан гэж үзнэ (Pedo et al., 1995).

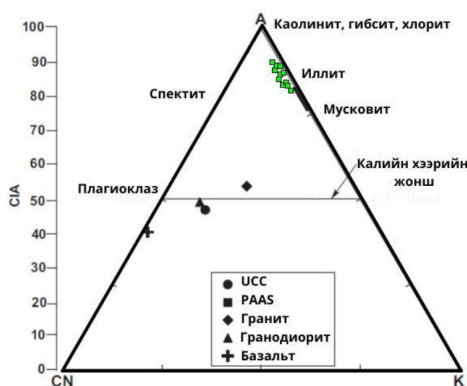
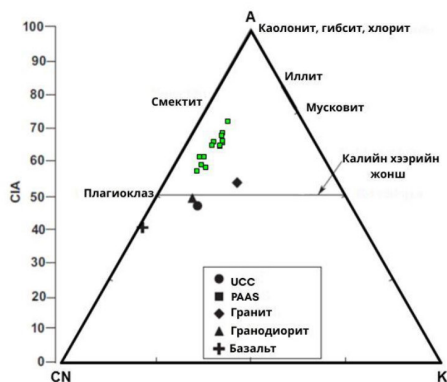
Дунд пермийн Цанхи формацийн аргиллитийн CIA утга 81-86 хооронд байх бөгөөд дунджаар 85 байна. Тавантолгой формацийн элсэн чулууны CIA утга 58-73 хооронд хэлбэлзэх бөгөөд дундаж нь 65 байна. Энэ нь Цанхи формацийн аргиллит хуримтлагдаж байх үед тэжээгч мужид химийн өгөршил эрчимтэй явагдаж, уур амьсгал халуун, чийглэг байжээ. Харин Тавантолгой формацийн хурдас хуримтлагдах үед уур амьсгал сэрүүсч, өгөршлийн эрчим багассан байна.

A-CN-K диаграм дээр дунд пермийн Тавантолгой, Цанх формацийн дээжүүдийг буулгаж, Зураг 3-д үзүүлэв. Диаграммын оройнуудад $\text{A}=\text{Al}_2\text{O}_3$ (моль), $\text{CN}=\text{CaO}^*+\text{Na}_2\text{O}$ (моль), $\text{K}=\text{K}_2\text{O}$ (моль) байна. Тавантолгой формацийн дээжүүд A-K тэнхлэг рүү хазайгаагүй, өөрөөр хэлбэл диагенезийн үед K-метасоматизмд өртөөгүй байна.

Уг диаграммыг ашиглан, тунамал чулуулгийн эх үүсвэрийг тогтоож болдог. Хэрэв дээжүүд K-метасоматизмд автаагүй бол дээжүүдийг

дайруулан A-CN тэнхлэгтэй параллель шугам татаж эх үүсвэрийн найрлагыг тодорхойлно. Үүнээс гадна чулуулгийн CIA ихээхэн өөрчлөлттэй байх нь тэжээгч мужид тектоник идэвхжил их, өргөгдөж байсныг илтгэдэг. Үүнээс үүдэн чулуулаг химийн өгөршилд жигд орж чаддаггүй байна (Nesbitt et al.,1997).

A-CN-K диаграммаас харахад Тавантолгой формацийн дээжүүдийн дундлаг найрлагатай чулуулгийн өгөршлөөр үүссэн болохыг тогтоов (Зураг 4). Үүнээс гадна Цанхийн хурдас хуримтлагдах үед тектоник хөдөлгөөн харьцангуй тайван байсан бол Тавантолгой формацийн CIA 58-81 байгаа нь уг хурдас хуримтлагдаж байх үед тэжээгч мужд тектоник идэвхижил өндөр байжээ.

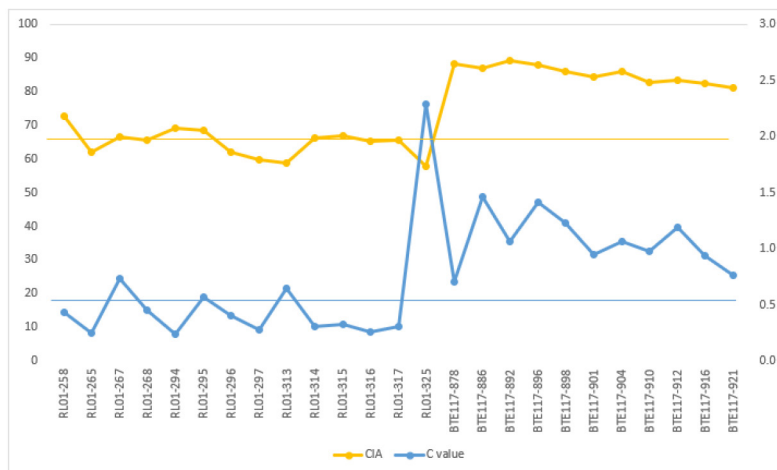


Зураг 3. A-CN-K диаграмм дээр дунд пермийн (а) Тавантолгой формац, (б) Цанхи формацийн дээжүүдийг буулгасан нь

5.3 Эртний уур амьсгал

Fe, Mn, Cr, Ni, V, Co зэрэг элементүүд чийглэг нөхцөлд хурдаст баяждаг бол хуурай уур амьсгалд эвапоритуудад Ca, Mg, Sr, Ba, K, Na зэрэг элементүүд хуримтлагдана. Үүнд тулгуурлан Zhao et al. (2007) Зүүнгарын савын пермийн уур амьсгалын судалгаанд $(Fe+Mn+Cr+Ni+V+Co)/(Ca+Mg+Sr+Ba+K+Na)$ буюу C-утгыг ашигласан байдаг. C-утга <0.4 бол арид, $0.4-0.8$ бол завсрын, >0.8 бол чийглэг уур амьсгалыг заана (Cao et al.,2012).

Цанхи формацийн дээжийн C-утга 0.7-1.5 хүрч хэлбэлзэнэ. Дундаж нь 1.1 байх тул харьцангуй чийглэг, дулаан байсан гэж үзлээ. Харин Тавантолгой формацийн дээжийн C-утга дунджаар 0.8 байгаа нь Цанхи формацтай харьцуулахад илүү сэрүүн болсныг илтгэнэ. Энэ нь Тавантолгой формацийн хурдас илүү өгөршлийн эрчим сул, илүү сэрүүн уур амьсгалд (CIA бага утга) хуримтлагдсан гэдэг өмнөх тайлалттай нийцэж байна (Зураг 4).



Зураг 4. Цанхи болон Тавантолгой формацийн дээжүүдийн CIA болон C-утга. Тэгш шугамаар Тавантолгой формацийн элсэн чулууны CIA болон C утгын дундажийг үзүүлсэн бөгөөд Цанхи формацийн хурдас хуримтлагдах үед уур амьсгал илүү дулаан, чийглэг байжээ.

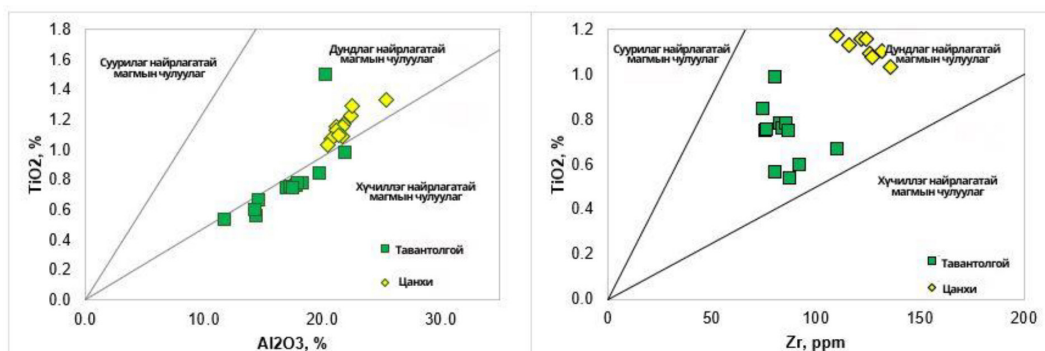
5.4 Тунамал чулууны эх үүсвэр

Тунамал чулуугийн химийн найрлагад эх үүсвэрийн төрөл гол нөлөөтэй. Суурилаг найрлагатай чулуулгаас үүссэн хурдас SiO_2 бага, Fe, Ti, Mg, Cr, Ni, Sc зэрэг элементээр баяжсан байна. Харин хүчиллэг найрлагатай чулуулгаас үүссэн хурдас SiO_2 баялаг, Th, Zr, Y, ГХЭ-р баяжина (Roser, 2000). Үүнд тулгуурлан тунамал чулуулгийн эх үүсвэрийг тодорхойлж болно (Roser and Korsh, 1988; Hayashi et al., 1997). Гэхдээ үндсэн ислийн агуулга хурдас зөөгдөж ангилагдах, эсвэл тунамал чулуулаг эвдэрч, дахин хуримтлагдах, хурдас хувиралд орох үед нилээд өөрчлөгддөгийг анхаарах ёстой. Иймд харьцангуй тогтвортой Al, Ti, болон сарнимал элементийг ашиглах нь илүү найдвартай (Taylor and McLennan, 1985; McLennan et al., 1993).

Al-, Ti-, Zr-ийн ислүүд бага температурт усанд маш муу уусдаг тул тунамал хурдас дахь

$\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ эх чулуулагтайгаа ижил байна. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2 > 21$ бол хүчиллэг, $8-21$ бол дундлаг, < 8 бол суурилаг найрлагатай чулуулгаас үүссэн гэж үздэг (Hayashi et al., 1997). TiO_2/Zr харьцаа хүчиллэг чулуулагт < 55 , дундлаг чулуулагт $55-200$, суурилаг чулуулагт > 200 байна.

Цанхи формацийн дээжийн $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ дунджаар 16, TiO_2/Zr дунджаар 101, Тавантолгой формацийн дээжийн $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ дунджаар 21, TiO_2/Zr дунджаар 100, хэлбэлзэж байгаа тул эх үүсвэр нь дундлаг найрлагатай чулуулаг байсан гэж дүгнэв (Зураг 5). Геохимийн судалгааны үр дүнгээс харахад Цанхи болон Тавантолгой формацийн хурдсын эх үүсвэр нь дундлаг найрлагатай чулуулаг байсан байна. Энэ тайлалт өмнөх A-CN-K диаграмийн үр дүн болон петрографийн судалгааны үр дүнтэй нийцэж байна.



Зураг 5. Цанхи болон Тавантолгой формацийн дээжүүдийг (a) Al_2O_3 ба TiO_2 , (b) TiO_2 Zr диаграмм дээр буулгасан нь

5.5 Тектоник

Тунамал чулуулагт агуулагдаж буй гол ислийн болон ховор элементийн найрлага дээр тулгуурлан хурдас хуримтлалын тектоник орчныг тодорхойлох боломжтой (Bhatia, 1983; Roser and Korsch 1986; Kumon and Kiminami, 1994). Эдгээр аргууд нь төрөл бүрийн тектоник нөхцөлд үүсэх магмын чулуулгийн найрлага ялгаатай тул тэдгээрийн өгөршлөөр үүсэх тунамал чулуулгийн химийн найрлага эх чулуулагтайгаа төстэй байдаг тулгуурладаг.

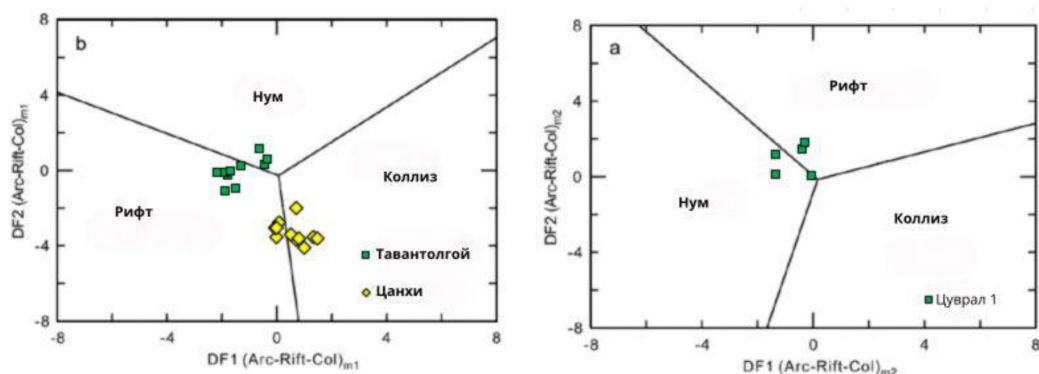
Verma and Armstrong-Altrin (2013) зохиосон диаграмм нь үндсэн 10 ислийг ашиглаж, арлан нум, эх газрын рифт, коллиз гэсэн 3 тектоникийн горимыг тодорхойлно. SiO_2 -ийн их болон бага агуулгатай дээжинд зориулсан хоёр диаграммаас бүрдэнэ. Тунамал чулуулгийн хуримтлалын орчныг тодорхойлох эдгээр диаграммууд нь зарим тохиолдолд тунамал чулуулаг хуримтлагдсан тектоникийн нөхцөлийг биш харин тухайн тунамал чулуулгийн эх үүсвэрийн тектоникийн горимыг заах тохиолдол гардгийг анхаарах ёстой (Verma and Armstrong-Altrin, 2013, 2016).

Цанхи болон Тавантолгой формацийн дээжийг уг диаграмд буулгасныг Зураг 6-д үзүүлэв. Цанхи формацийн дээжийн дийлэнх коллизийн талбайд, харин Тавантолгой формацийн

дээжүүдийн дийлэнх эх газрын рифтийн талбайд бууж байна.

Өмнөд Монголын хэмжээнд девон-карбоны үед арлан нумууд хөгжиж байсан (Lamb and Badarch, 2001) ба карбоны төгсгөлөөс түрүү пермд эх газрын царцдас үүссэн боловч, дээд пермийн хүртэл шахалтын горим үргэлжилсээр байсан. Иймд Тавантолгой формацийн хурдсыг нумын арын тэлэлтийн рифтийн хотгорт үүссэн гэж таамаглав. Өөр боломжит хувилбар нь коллизийн үед хэт зузаарсан өргөгдлийн эвдрэлээр үүсдэг рифтийн хотгорт хуримтлагдсан байж болох юм. Гэхдээ энэ тохиолдолд детачмент хагарал, эртний чулуулгийн бүрдэл тогтоогдох ёстой. Одоогоор өмнөд Монголын хэмжээнд эдгээр нь тогтоогдоогүй тул нумын арын тэлэлттэй холбоотой рифтийн хотгорыг илүү боломжтой гэж үзлээ. Өмнө хийгдсэн Болормаа нар (2019)-ын судалгаагаар мөн ийм таамаглал дэвшүүлсэн байдаг.

Цанхи формацийн хувьд уг формац нь Тавантолгой формацтай нийцлэг, хуримтлалын хугацааны хувьд ойролцоо байх ёстой. Иймд Цанхи формацийн хурдас хуримтлагдсан тектоникийн нөхцөлийг Тавантолгойтой ижил байх ёстой гэж таамаглаж байгаа бөгөөд коллизийн нөхцөл нь Цанхи формацийн хуримтлалын тектоник орчинг биш, харин уг



Зураг 6. Тектоник орчин тодорхойлох дискриминацийн диаграммууд дээр Цанхи болон Тавантолгой формацийн дээжүүдийг буулгасан нь (а) SiO_2 -ийн их агуулгатай дээжийн диаграм (b) SiO_2 -ийн бага агуулгатай дээжийн диаграм (Verma and Armstrong-Altrin, 2013). Цанхи формацийн дээжүүд бүгд цахиурын их агуулгатайд ($\text{SiO}_2 > 63\%$) хамаарч байсан болно.

6. Дүгнэлт

Тавантолгой орд дээр өрөмдсөн 2 цооног (RL-#01, ВТЕ-117)-оос авсан дунд пермийн Цанхи, Тавантолгой формацийн аргиллит, элсэн чулууны нийт 25 дээжинд геохими, петрограф болон элсэн чулууны хэмхдэсийн модаль шинжилгээ гүйцэтгэв.

Петрограф болон элсэн чулууны хэмхдэсийн модаль шинжилгээний үр дүнгээс харахад дунд пермийн Тавантолгой формацийн элсэн чулуу нь литикаренитийн найрлагатай бөгөөд арлан нумд үүссэн магмын чулуулаг коллизийн нөлөөгөөр өргөгдөн угаагдахад үүссэн байна.

Геохимийн судалгааны үр дүнгээс харахад Цанхи формацийн хурдас нь Тавантолгой формацийн хурдастай харьцуулахад илүү чийглэг, дулаан уур амьсгалд хуримтлагджээ. Мөн Тавантолгой формацийн хурдсыг нумын арын тэлэлттэй холбоотой үүсдэг рифтийн хотгорт хуримтлагдсан гэж таамаглав.

Мөн Цанхи, Тавантолгой формацийн хурдас нь хүчиллэг, дундлаг найрлагатай чулуулгаас үүссэн байна. Иймд боломжит эх үүсвэрийг пенсильванийн Могойт бүрдэл, ангилагдаагүй субвулкан, Дөш-Овоо формац, сизуралийн

ангилагдаагүй гранит, субвулкан, Аргалант формацууд гэж үзлээ.

Талархал

Энэхүү судалгааг Монгол Улсын Их Сургуулийн Өндөр түвшний төсөл (P2020-3939), МУИС-ийн Геологи, геофизикийн тэнхим болон Эрдэнэс Тавантолгой ХК, мөн тус тэнхим болон Метан газ ресурс ХХК-ийн хамтын ажиллагааны хүрээнд гүйцэтгэв.

Хээрийн болон лабораторийн судалгаа хийх боломж бүрдүүлж, геологийн мэдээлэл хуваалцсан Метан газ ресурс ХХК (Б.Одхүү нар) болон Эрдэнэс Тавантолгой ХК (Б.Гантулга нар)-ийн геологийн багийн хамт олонд талархал илэрхийлье.

Ашигласан хэвлэл

Эрдэнэцогт, Б., 2001. Монголын шатах ашигт малтмал, тэдгээрийг агуулсан тунамал савууд. Геологийн асуудлууд 21 (02):212-26. <https://journal.num.edu.mn/geology/article/view/1262>.

Баатархуяг. А., Алтанцэцэг. Д., Уранбилэг. Л., Байгалмаа. Н., 2010. Нарийн сухайтын нүүрсний ордын нүүрс агуулагч хурдасны насны шинэ

ойлголт. Хайгуулчин. х.81-83.

- Байгалмаа Н, Эрдэнэчимэг Д, Эрдэнэцогт Б, Жаргал Л, Огата Т, Эрдэнэбаяр Ж, Баатархуяг А, Нансалмаа Д, Билгүүн Л., 2021. Өмнөд Монголын дунд юрын уур амьсгал, геодинамикийн нөхцөл. I хэсэг: Нарийнсухайт ордын элсэн чулууны геохимийн судалгаа. Геологийн асуудлууд, 19: 46-62.
- Батгэрэл С., Эрдэнэцогт Б, Байгалмаа Н, Алтанцэцэг Д., 2021. Өмнөд Монголын дунд юрын уур амьсгал, геодинамикийн нөхцөл. II хэсэг: Нарын сухайт ордын геохимийн судалгаа. Геологийн асуудлууд 19: 63-74.
- Бат-Эрдэнэ Д., 2009. Шатах ашигт малтмал. Монголын геологи ба ашигт малтмал цувралын 5-р боть. Улаанбаатар, Соёмбо.
- Болормаа. Э, Эрдэнэцогт. Б, Нансалмаа. Д, Жаргал. Л, Байгалмаа. Н, Бат.Б., 2019. Дунд пермийн Тавантолгой формацийн элсэн чулууны петрографи, геохимийн судалгааны үр дүн. Геологийн асуудлууд 19: 112-123.
- Гантулга, Б., 2013. Тавантолгойн нүүрсний ордын зарим давхраасуудын чанарын харьцуулалт. Магистрын ажил. МУИС, Улаанбаатар
- Нансалмаа, Д., Жаргал Л., Эрдэнэцогт Б., Гантулга Б., 2022. Сайхан-овоо формацийн элсэн чулууны петрографийн судалгааны үр дүнгээс. Геологийн асуудлууд 19 (1):16-23. <https://journal.num.edu.mn/geology/article/view/866>.
- Дэмбэрэлсүрэн Б., 2021. Өмнөд Монголын Барууннаран ордын нүүрсний хуримтлагдсан нөхцөл. Докторын диссертаци. Улаанбаатар.
- П.Хосбаяр, Б.Бямбаа, Ц.Дорж, П.Төмөрбаатар, 1987. Тавантолгой районы геологийн карт 1:50000. Фондын дугаар 3740. Улаанбаатар
- Уранбилэг Л., 2001. Фитостратиграфия и флора верхнепермских угленосных отложений южной Монголии. Авирреферат дис. на соис. уч. ст. канд. геол. мин. н., Москва
- Эрдэнэцогт Б, Байгалмаа Н, Эрдэнэ А., 2021. Дунд-дээд юрын хужирт ордын нүүрсний геохимийн судалгаа: хойд Монголын юрын уур амьсгал, геодинамикийн нөхцлийн асуудалд. Геологийн асуудлууд 20: 78-90.
- Baigalmaa, N., Erdenetsogt, B.-O., Jargal, L., Baatarkhuyag, A., Altantsetseg, D., 2024. Maceral composition, coal characteristics and depositional environment of the Middle Jurassic Nariinsukhait coal deposit, Southern Mongolia. *Mongolian Geoscientist*, 29 (59), 29–53. <https://doi.org/10.5564/mgs.v29i59.3593>
- Bhatia, M.R., 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones. *Journal of Geology* 91, 611–627
- Cao, J., Wu, M., Chan, Y., Hu, K., Bian, L.Z., Wang, L.G., Zhang, Y., 2012. Trace and rare earth elements geochemistry of Jurassic mudstones in the northern Qaidam basin, northwest. China. *Chemie der Erde* 72, 245–252.
- Dickinson, W.R., 1985, Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. In: Zuffa, G.G. (ed.), *Provenance of Arenite*. Reidel, Holland, p. 333-361.
- Erdenetsogt B.-O., Jargal L., 2021. Coal Deposits. In: Gerel O, Pirajno F, Batkhishig B, Dostal J. (eds), *Mineral Resources of Mongolia. Modern Approaches in Solid Earth Sciences*, vol 19. Singapore: Springer.
- Fedo C. M., Nesbitt H. W. C Young G. M. 1995. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Geology* 23, 921–4.
- Folk, R.L., 1968. *Petrology of Sedimentary Rocks*. Austin. Hemphill Publishing Co..x. 170.
- Hayashi, K.I., Fujisawa, H., Holland, H.D., Ohmoto, H., 1997. Geochemistry of ~1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61, 4115–4137.
- Kumon and Kiminami, 1994 Modal and chemical compositions of the representative sandstones from

- the Japanese Islands and their tectonic implications. *Proc 29th Intl., Geol. Cong. Part A*, 135-151.
- Lamb, M.A., Badarch, G., 2001. Paleozoic sedimentary basins and volcanic arc systems of southern Mongolia: new geochemical and petrographic constraints. In: Hendrix, M.S., Davis,
- McLennan, S.M., Hemming, S., McDaniel, D.K., Hanson, G.N., 1993. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics. *Geological Society of America Special Papers* 284, 21–40.
- Nesbitt H. W. & Young G. M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature* 299, 715–17.
- Nesbitt H.W., Fedo C. M. & Young G. M. 1997. Quartz and feldspar stability, steady and non-steady-state weathering, and petrogenesis of siliciclastic sands and muds. *Journal of Geology* 105, 173–91.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E., Siever, R., 1972. *Sand and Sandstone*. Springer-Verlag, New York (553 pp).
- Roser B. P. C Korsch R. J. 1986. Determination of tectonic setting of sandstone and mudstone suites using SiO₂ and K₂O/Na₂O ratio. *Journal of Geology* 94, 635–50.
- Roser B. P. C Korsch R. J. 1988. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discrimination function analysis of major element data. *Chemical Geology* 67, 119–39.
- Roser B. P., 2000. Whole-rock geochemical studies of clastic sedimentary suites. *Memoirs of the Geological Society of Japan* 57, 73–89.
- Taylor, S.R., McLennan, S.M., 1985. *The Continental Crust: Its Composition and Evolution*.
- Verma, S.P., Armstrong-Altrin, J.S., 2013. New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins. *Chemical Geology* 355, 117–133.
- Verma, S.P., Armstrong-Altrin, J.S., 2016. Geochemical discrimination of siliciclastic sediments from active and passive margin settings. *Sediment. Geol.* 332, 1–12.
- Zhao, Z.Y., Zhao, J.H., Wang, H.J., Liao, J.D., Liu, C.M., 2007. Distribution characteristics and applications of trace elements in Junggar Basin. *Nat. Gas Explor. Dev.* 30, 30–33 (in Chinese with English abstract).